

MARCO DELLE ROSE¹, MICHELE DE MARCO¹,
ANTONIO FEDERICO¹, CORRADO FIDELIBUS¹,
GAETANO INTERNÒ¹, WALTER ORGIATO², ALBERTO PISCAZZI¹

¹ II Facoltà di Ingegneria - Politecnico di Bari, v.le del Turismo 8 - Taranto

² Laboratorio Analisi Pignatelli - Via M. d'Otranto, 2 - Lecce

STUDIO PRELIMINARE SUL RISCHIO DI DESERTIFICAZIONE NEL TERRITORIO CARSICO DI LECCE

RIASSUNTO

L'eccessivo sfruttamento degli acquiferi carsici del Salento ha prodotto, da tempo, l'insorgere del fenomeno della salsificazione delle acque di falda. L'uso di acque salmastre per l'irrigazione delle colture può determinare, nel lungo termine, la perdita del potenziale biologico dei suoli. Pertanto, in uno con l'esigenza di utilizzare acqua anche da altre fonti approvvigionamento, si pone, inderogabile, la necessità di definire un modello di circolazione idrica negli acquiferi carsici al fine di valutare la quantità di risorsa emungibile senza dar luogo a significativi effetti di salsificazione. In questa nota si descrivono le basi fisico-matematiche del modello proposto (relativo al territorio di Lecce) e la metodologia approntata per la definizione dei relativi parametri.

SUMMARY

Groundwater salinisation as a result of an overexploitation leads, in the long term, to the loss of biological potential of soils (desertification phenomenon). Together with the utilization of other sources, the definition of a model for the prevision of groundwater flow seems mandatory in order to evaluate the sustainable amount of groundwater resource which can be exploited. The note illustrates the physico-mathematical basics of such a model (based on the hydrogeological features of the Lecce karst zone) and the methodology setup for the definition of the related parameters. The model needs to carry out the following phases: choice of a conceptual reference scheme; definition of the representative equations of the phenomenon; direct measurement of some physical quantities; determination of the parameters under discussion; validation and refinement of the model; forecasting according to possible or predictable scenarios. The problem of definition and forecast of solute transport in the aquifer can be faced through the adoption of an hydraulically equivalent medium and submitted to a process of filtering with transport of solute, whose fieldvarying are the hydraulic pressure and the salt concentration. The equivalence is obtained associating to the fictitious porous medium the hydraulic conductivity and the dispersion tensor produced by means of the hydraulic and geometric characteristics of the dominant system of fractures and karst cavities. The resolution of the problem needs a couple of differential equations of the second order or of numerical solutions.

As regards the present management of the groundwater resource of the Salento, due to the state of knowledge and the level of available tools, the authorities should pay greater attention to the negative impact of the new pumping projects.

INTRODUZIONE

Il problema della desertificazione, processo irreversibile che comporta una diminuzione o distruzione del potenziale biologico dei suoli, impone una gestione delle riserve idriche sempre più oculata, unitamente alla necessità di rendere ecologicamente compatibili i modelli di sviluppo sociale ed economico.

Per le aree carsiche costiere il problema della desertificazione è strettamente connesso con quello della salsificazione delle acque di falda (GHASSEMI *et al.*, 1995), causata dall'ingressione dell'acqua di mare nel continente a seguito di emungimenti estensivi e incontrollati.

Acque di falda con contenuto salino di alcuni grammi per litro possono essere utilizzate per varie colture, ma il loro uso determina, in carenza di efficaci fenomeni di dilavamento, un progressivo accumulo di sali nei suoli che perdono parte del loro potenziale biologico, talora irreversibilmente.

La tendenza alla salsificazione è variabile nell'ambito di uno stesso acquifero, per cui grande importanza assumono gli studi volti alla caratterizzazione idrogeologica dell'acquifero medesimo ed alla previsione di sostenibili scenari di sfruttamento.

Nella nota si descrivono gli studi preliminari relativi all'acquifero carsico costiero del Salento con particolare riferimento al territorio di Lecce, dove l'incidenza del fenomeno di salsificazione è particolarmente elevata, e si propongono le basi per la realizzazione di un modello fisico-matematico della circolazione idrica nel sottosuolo per la previsione degli scenari futuri associati a diverse opzioni di sfruttamento dell'acquifero.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO DEL SALENTO

Il Salento (Fig 1), porzione meridionale emersa della Microplacca Apula (Auct.), è costituito da depositi mesozoici, cenozoici e neozoici prevalentemente carbonatici e, meno frequentemente, marnosi ed argilloso-siltosi. Esso ha stile tettonico ad alti e bassi strutturali separati da faglie ad alto angolo con direzioni prevalenti NW-SE e NNW-SSE (LARGAIOLLI *et al.*, 1969; ROSSI, 1969; MARTINIS, 1970). Le serie stratigrafiche più complete corrispondono ai blocchi tettonicamente ribassati, mentre quelle più lacunose ai blocchi in rilievo strutturale (DELLE ROSE, 2001).

I depositi carbonatici, interessati da carsismo ipogeo ed epigeo a più riprese e per periodi assai lunghi sin dal Cretaceo (PALMENTOLA, 1987), sono frequentemente caratterizzati da forme carsiche quali doline, grotte e voragini (RICCHETTI, 1987; GIULIANI, 2000).

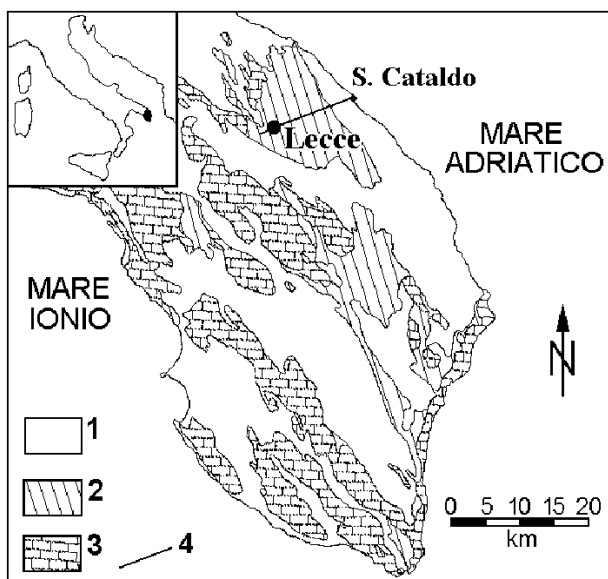


Fig. 1 - Schema geologico del Salento. 1, depositi plio-pleistocenici; 2, depositi miocenici; 3, depositi paleogenici e cretacei; 4, traccia della sezione Lecce-S. Cataldo in fig. 3.

Per la sua natura carsica, il Salento è privo di reti idrografiche organizzate. Sono diffusi, tuttavia, canali di drenaggio che sfociano a mare e in specchi d'acqua salmastra o, nelle zone interne della penisola, in inghiottitoi carsici ed in doline di crollo ingegnerizzate.

L'assetto geologico del Salento determina la presenza di più acquiferi nel sottosuolo. I depositi mesozoici sono molto permeabili per fratturazione e carsismo, mentre quelli terziari e quaternari presentano un'ampia gamma di valori di permeabilità in funzione della granulometria e della percentuale di matrice siltoso-argillosa, nonché delle caratteristiche dei sistemi di frattura.

L'acquifero principale ha sede nei depositi carbonatici del Cretaceo; la falda di base o "profonda" in esso contenuta costituisce l'unica risorsa potabile del Salento e ne soddisfa oltre il 65% del fabbisogno idrico complessivo. Nei depositi carbonatici cenozoici e neozoici si rinven- gono vari livelli idrici (CALÒ *et al.*, 1990), che a luoghi costituiscono falde "superficiali" di estensione generalmente limitata e costituenti riserve idriche di modesta potenzialità.

In generale, gli acquiferi carbonatici hanno caratteristiche idrologiche molto variabili, comprese tra quelle dei "*conduit aquifers*", in cui l'acqua fluisce essenzialmente in sistemi di condotte carsiche, e quelle dei "*diffuse flow aquifers*", nei quali i sistemi carsici hanno una trascurabile influenza sulla circolazione idrica sotterranea. Per il Salento, nella falda profonda l'acqua circola principalmente nelle condotte carsiche e, subordinatamente, nelle fratture (DEL- LE ROSE *et al.*, 2000), mentre nelle falde superficiali sembra regolata essenzialmente dalla porosità delle rocce e, secondariamente, dai sistemi di fratturazione e dalle condotte carsiche.

L'acquifero profondo ed alcuni acquiferi superficiali sono di tipo "costiero", in quanto le acque di falda sono sostenute alla base da acque marine di intrusione continentale. In prima approssimazione, assumendo condizioni statiche e di immiscibilità delle due acque (interfaccia brusca e netta), lo spessore dell'acqua dolce è, in base alla relazione di DuCommun-Ghyben- Herzberg, circa 40 volte l'altezza della superficie piezometrica sul livello del mare. In realtà, tra la falda e l'acqua marina è presente una zona di transizione a salinità variabile, il cui spessore è funzione del grado di eterogeneità dell'ammasso.

Ogni variazione del livello di falda dà luogo ad una variazione della posizione dell'interfaccia acqua dolce - zona di transizione. Quando la falda è sottoposta ad eccessivo emungimento si innesca il fenomeno della contaminazione salina, acque salate essendo ri- chiamate dal basso (*upcoming*) e - per l'inversione del gradiente idraulico - anche dalla costa (*lateral intrusion*) a miscelarsi con le acque dolci, con l'effetto di locale espansione della zona di transizione e di aumento del contenuto salino dell'acqua emunta.

Negli ultimi decenni, una progressiva e preoccupante crescita della salinità dell'acqua della falda profonda ha interessato il Salento (COTECCHIA *et al.*, 1986; TULIPANO e FIDELIBUS, 1989; FEDERICO, 1999).

CONSIDERAZIONI SULLA STRUTTURA IDROGEOLOGICA DEL LECCESE E SUL RISCHIO DI DESERTIFICAZIONE

Nel territorio del comune di Lecce, ubicato nella parte NE della Penisola Salentina (Fig. 1), sono presenti numerosi pozzi. Una parte consistente di questi attinge da livelli idrici con caratteristiche non ben definite (AA.VV., 2000). Ciò è dovuto ad una struttura geologica com- plessa e conosciuta solo in parte, caratterizzata da unità litostratigrafiche più o meno "carsificate" e con proprietà idrogeologiche variabili.

La serie stratigrafica, dal basso, è costituita da calcari e calcari dolomitici del Cretaceo (Dolomie di Galatina e Calcari di Melissano) (MARTINIS, 1967; ROSSI, 1969); marne, cal-

cari e argille dell'Oligocene (DEL PRETE e SANTAGATI, 1972; MARGIOTTA, 1992), formalizzate come "Formazione di Galatone" da BOSSIO *et al.* (1998; 1999); calcareniti fini del Miocene distinte in Pietra Leccese (DE GIORGI, 1922) e Calcareniti di Andrano (MARTINIS, 1967); e calcareniti medie e grossolane del Plio-Pleistocene (ROSSI, 1969; BOSSIO *et al.*, 1999).

Le unità, separate da superfici di discontinuità stratigrafica, hanno spessori variabili a causa della strutturazione tettonica, attiva in più periodi con sviluppo di faglie dirette e locali evidenze di movimenti inversi, e dell'azione degli agenti esogeni durante le fasi di emersione (ROSSI, 1969; DELLE ROSE, 2001). Oltre a faglie orientate NW-SE, parzialmente visibili in superficie, si ritiene molto probabile, sulla base delle variazioni dello spessore delle unità stratigrafiche in numerose perforazioni, la presenza di faglie orientate all'incirca NE-SW.

Schematicamente, le risorse idriche sotterranee sono costituite dalla falda profonda contenuta nell'acquifero carbonatico cretaceo (COTECCHIA *et al.*, 1986; MARGIOTTA e TADOLINI, 1987) ed, in subordine, da vari livelli idrici nei depositi miocenici (CALÒ *et al.*, 1990) e da una falda superficiale costiera contenuta nei depositi plio-pleistocenici e in parte collegata con quella profonda (TADOLINI *et al.*, 1971).

Numerosi pozzi sono stati terebrati dall'Ente Irrigazione, specie negli anni 50'-60', per verificare le potenzialità delle risorse idriche sotterranee del territorio di Lecce. La falda profonda è risultata avere spessore variabile ed annullarsi a circa 1,5 km dalla costa (TADOLINI *et al.*, 1971). Essa circola principalmente in pressione con quote massime di 2,5-3,5 m sul livello del mare. Il tetto della falda è in genere a profondità prossime a quelle della zona di transizione, ciò comportando un rapido aumento del contenuto salino dell'acqua emunta.

I livelli idrici presenti nei depositi miocenici sono interpretati come falde sospese di modesta entità, ubicate in corrispondenza di discontinui livelli stratigrafici più o meno permeabili, come il livello guida "piromafo" (Litofacies C di DELLE ROSE, 2001), relativamente più carsificato (TADOLINI *et al.*, 1971).

Centinaia sono i pozzi scavati a mano nella Pietra Leccese nei secoli passati sino alla profondità di oltre 40 m. Esigua era, solitamente, la riserva d'acqua che vi si accumulava, e di attingimento di acque salmastre da pozzi profondi 25-30 m già dava notizia DE GIORGI (1922). Così, già nella prima metà del secolo scorso, l'utilizzo di pompe per emungimento dette esiti in genere sfavorevoli, prosciugandosi i pozzi rapidamente con risalite dei livelli in tempi assai lunghi. Non a caso l'acqua dei pozzi nella Pietra Leccese veniva chiamata "sudore", ad indicare l'alimentazione da parte del trasudamento della roccia. Ciò a causa delle caratteristiche della Pietra Leccese, molto porosa e con diffusa presenza di cemento microcristallino nei pori e quindi poco permeabile, se non fratturata e carsificata, ma capace di immagazzinare quantità d'acqua sino al 25÷30 % del volume (MARGIOTTA, 1992).

Le falde del territorio di Lecce sono particolarmente sensibili alla contaminazione salina e per tale motivo questo territorio rientra nelle zone di vietato emungimento e di salvaguardia previste nel Piano Regionale Risanamento delle Acque del 1981. CALÒ *et al.* (1990) indicano estesi settori a N e ad E dell'abitato dove l'acquifero profondo è interessato dalla presenza di sole acque marine.

Attualmente il contenuto salino delle acque emunte dai pozzi della zona è in genere elevato, come è evidente dagli alti valori di concentrazione dello ione cloro nei dintorni di Lecce (Fig. 2). Ciò, in assenza di un sufficiente dilavamento, determina un elevato rischio di desertificazione.

D'altra parte, già le locali condizioni climatiche, caratterizzate da brevi e intense precipi-

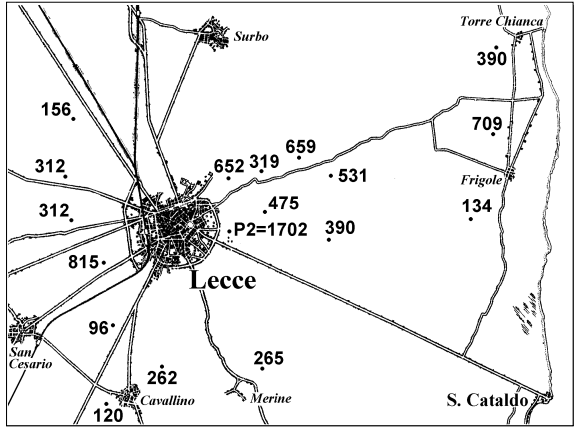


Fig. 2 - Concentrazioni massime di ioni cloro (mg/l) nelle acque emunte da pozzi per irrigazione nel periodo giugno 1999 - maggio 2001 (dati del Laboratorio Pignatelli).

sul finire degli anni '80 (AA. VV., 2000). Tale diminuzione, concomitante l'aumento della temperatura media terrestre (GHIRAUDI *et al.*, 2001), comporta la riduzione dei quantitativi d'acqua potenzialmente disponibili per la ricarica delle falde, aumentando ulteriormente il rischio di desertificazione per l'area carsica costiera di Lecce. Pertanto, in uno con l'esigenza di utilizzare anche fonti idriche alternative, si pone, inderogabile, la necessità di definire un modello di circolazione negli acquiferi carsici onde stabilire le opzioni di sfruttamento ecologicamente sostenibili.

SIMULAZIONE DEL DEFLUSSO IDRICO SOTTERRANEO

La previsione dei rischi associati a differenti opzioni di sfruttamento delle riserve idriche sotterranee necessita di un modello fisico - matematico per il flusso idrico con trasporto di soluto. Il modello è in fase di elaborazione lungo vari profili rappresentativi le diverse situazioni idrogeologiche del Salento. Quello qui proposto è relativo alla sezione Lecce-S.Cataldo,

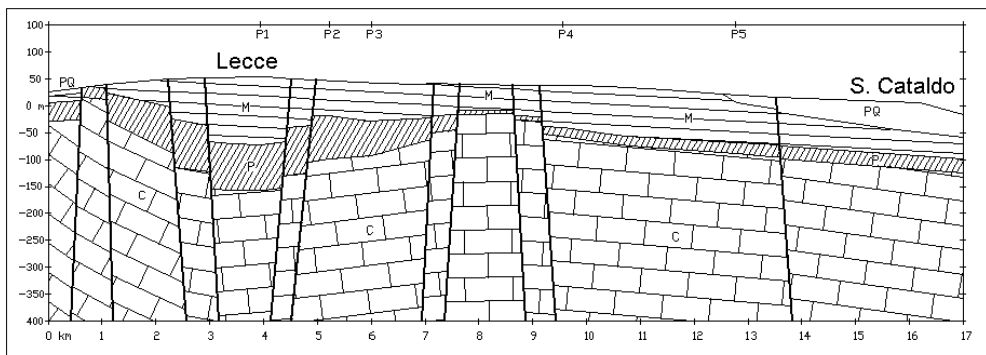


Fig. 3 - Sezione geologica Lecce-S. Cataldo. PQ, depositi plio-pleistocenici; M, depositi miocenici (Pietra Leccese e Calcareniti di Andrano); P, depositi paleogenici (Formazione di Galatone); C, depositi cretacei (Dolomie di Galatina e Calcari di Melissano). Pozzi: P1, piazza S. Oronzo (MARGIOTTA, 1992) con analisi biostratigrafiche di BOSSIO *et al.* (1999), profondità 200 m; P2, viale dello Stadio per irrigazione aiuole Comune di Lecce, profondità 144 m; P3, località Fondone, profondità 135 m; P4, pozzo 11 di MARGIOTTA and TADOLINI (1987), profondità 85 m; P5, pozzo 14/IIS dell'Ente Irrigazione, profondità 137 m.

di cui si rappresenta un preliminare profilo geologico ricostruito sulla base di rilevamenti e delle stratigrafie di 5 pozzi (Fig. 3). Esso è schematizzato da un mezzo poroso, idraulicamente equivalente ad un mezzo fessurato e carsificato, sottoposto ad un processo di filtrazione con trasporto di soluto e con carico idraulico e concentrazione variabili di campo. L'equivalenza è ottenuta associando al mezzo poroso equivalente i tensori di conduttività idraulica e di dispersione desunti sulla base delle caratteristiche idrauliche e geometriche del sistema dominante di fessure e cavità carsiche (LONG *et al.*, 1982).

Nel modello viene assunto che: l'acqua sia contenuta in un acquifero multifalda, carsico, costiero e compartimentato da formazioni semipermeabili; i depositi miocenici permettano scambi verticali in corrispondenza delle discontinuità carsificate; i depositi oligocenici costituiscano il tetto impermeabile dell'acquifero cretaceo; la base della zona di transizione acqua dolce-acqua salata si trovi, a seconda dei luoghi, in corrispondenza dei depositi cretacei, oligocenici o miocenici.

La risoluzione del problema necessita della soluzione di una coppia di equazioni differenziali del 2° ordine, per le quali esiste soluzione analitica solo nei casi di geometrie semplici e materiali omogenei e isotropi; negli altri casi si ricorre a soluzioni numeriche, discretizzando spazialmente l'acquifero. Per la discretizzazione del dominio piano sarà possibile impiegare un codice di calcolo operante in regime di filtrazione piana e che utilizza il metodo degli elementi finiti con la procedura ai residui pesati di Galerkin (VOSS, 1984). Le equazioni fondamentali utilizzate derivano dal bilancio della massa di fluido e della massa di soluto, e sono, rispettivamente:

$$\rho S_{op} \frac{\delta p}{\delta t} + \epsilon \frac{\delta p}{\delta C} \frac{\delta C}{\delta t} + \nabla (\epsilon \rho \mathbf{v}) = 0$$

$$\epsilon \rho \frac{\delta C}{\delta t} + \epsilon \rho \mathbf{v} \cdot \nabla C - \nabla [\epsilon \rho (\mathbf{D}_m \mathbf{I} + \mathbf{D}) \cdot \nabla C] = 0$$

in cui S_{op} = coefficiente di immagazzinamento specifico, $p(x,z)$ = pressione del fluido, $C(x,z)$ = concentrazione del soluto intesa come rapporto adimensionale tra massa di soluto e massa di fluido, $\epsilon(x,z)$ = porosità efficace del mezzo, $\mathbf{v}(x,z)$ = velocità effettiva del fluido, \mathbf{D}_m = diffusività molecolare, \mathbf{I} = tensore di identità, $\mathbf{D}(x,z)$ = tensore di dispersione meccanica e $\rho(x,z)$ = densità della massa fluida.

La densità ρ varia linearmente con la concentrazione secondo la relazione:

$$\rho = \rho_0 + \frac{\delta \rho}{\delta C} C$$

ρ_0 essendo la densità dell'acqua a concentrazione nulla.

La velocità media effettiva è espressa secondo la legge di Darcy:

$$\mathbf{v} = - (k/\epsilon \mu) (\nabla p - \rho \mathbf{g})$$

avendo indicato con $k(x,z)$ il tensore di permeabilità, con μ la viscosità del fluido e con g il vettore della gravità.

Il tensore di dispersione D è funzione delle componenti di velocità v_x e v_z e dei coefficienti α_L ed α_T di dispersività longitudinale e trasversale (BEAR, 1979).

Per la scelta di alcuni parametri è opportuno effettuare alcune brevi considerazioni. In merito alla porosità del mezzo, essendo la velocità attraverso le fratture di alcuni ordini di grandezza superiore a quella attraverso la matrice, il contributo di quest'ultima potrebbe essere trascurato. Secondo GORDON (1986) la porosità effettiva può essere stimata come il volume dei vuoti delle fratture contribuenti al flusso rapportato all'unità di volume dell'ammasso roccioso. HUYAKORN *et al.* (1983) esprimono la porosità e come $a/(a+d)$, con a apertura e d distanza tra le fratture. Tali assunti, nella fase di sviluppo del modello dovrebbero consentire l'attribuzione di opportuni valori di porosità. Per ciò che attiene alle dispersività trasversale α_T e longitudinale α_L , i rispettivi valori sono ricavabili mediante l'utilizzo di traccianti e in base all'ordine di grandezza della più grande disomogeneità di flusso nella direzione del trasporto come sostenuto da VOSS (1984).

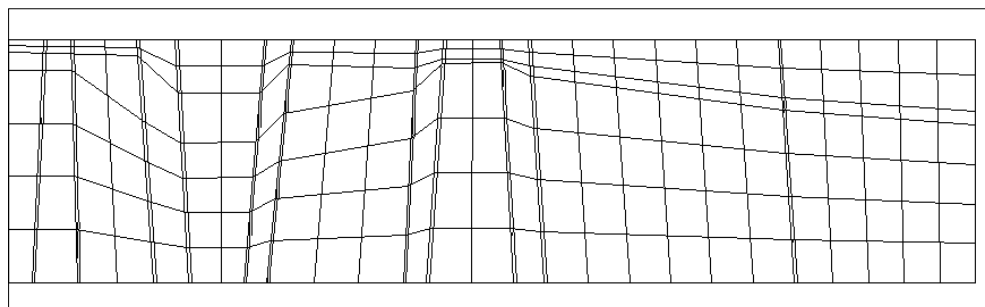


Fig. 4 - Esempio di maglia grezza agli elementi finiti, per l'affinamento dei parametri, relativa alla sezione geologica di fig. 3.

Per l'affinamento dei parametri del modello potrà risultare opportuno l'utilizzo del codice applicato, in maniera parametrica, alla soluzione del problema di HENRY (1959). In particolare, lungo la sezione Lecce - S. Cataldo il dominio potrà essere discretizzato a mezzo di elementi finiti quadrilateri, il dominio temporale mediante differenze finite (Fig. 4).

CONCLUSIONI

La gestione delle risorse idriche del sottosuolo delle aree carsiche costiere esposte al rischio di desertificazione richiede, anzitutto, l'elaborazione di un modello capace di simulare adeguatamente il deflusso idrico sotterraneo. Definendo opportunamente previsioni di sfruttamento e operando previsioni dei regimi di pioggia e dei valori dell'evapotraspirazione potenziale e reale, sarà quindi possibile prospettare le conseguenze derivanti dal sovrasfruttamento in termini di qualità dell'acqua emunta. Per la valutazione complessiva del rischio di desertificazione, sarà infine necessario integrare i risultati con studi relativi alle variazioni del potenziale biologico dei suoli.

Allo stato attuale delle conoscenze e in mancanza di idonei strumenti operativi di gestione delle riserve idriche sotterranee, risulta comunque inderogabile da parte delle autorità prestare grande cautela nell'attuare nuovi progetti di sfruttamento delle acque di falda.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano: l'Ente Irrigazione di Bari, in particolare il geom. Girolamo Gagliardi, per i dati stratigrafici e idraulici sui pozzi dell'ente; il dr. Mauro Pascariello ed il dr. geol. Fabio Macrì per le stratigrafie, rispettivamente, dei pozzi P2 e P3; il dr. ing. Vincenzo Lenti per i preziosi consigli. Questo lavoro è stato finanziato dal C.N.R. - contratto n° 94.01741. P.F. 42, Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, Pubbl. n 2462.

BIBLIOGRAFIA

- AA. VV., 2000 – Studio di verifica della stato qualitativo della falda. Annotazione Provinciale di Lecce: 53 pp.
- BEAR J., 1979 – *Hydraulics of groundwater*, McGraw-Hill.
- BOSSIO A., ESU D., FORESI L.M., GIROTTI O., IANNONE A., LUPERTO E., MARGIOTTA S., MAZZEI R., MONTEFORTI B., RICCHETTI G., SALVATORINI G., 1998 – Formazione di Galatone, nuovo nome per un'unità litostratigrafica del Salento (Puglia, Italia meridionale). *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie*, 105: 151-156.
- BOSSIO A., FORESI L., MARGIOTTA S., MAZZEI R., MONTEFORTI B., SALVATORINI G., 1999 – Carta geologica del settore nord orientale della Provincia di Lecce. Univ. degli studi di Siena.
- CALÒ G., GNONI R., STANI M., 1990 – Caratteri idrogeologici delle falde superficiali della Penisola Salentina e valutazione della vulnerabilità degli acquiferi. *Amm. prov. di Lecce*: 31 pp.
- CARROZZO M. T., RUGGERO L., 1989 – Descrizione climatica e paleoclimatica della Puglia. *Atti 1° Workshop "Clima, Ambiente e Territorio nel Mezzogiorno"*, Taormina: 31-41.
- COTECCHIA V., FIDELIBUS M. D., TULIPANO L., 1986 – Phenomenologies connected with the variation of equilibria between fresh and salt water in the coastal karst carbonate aquifers of the Salento Peninsula (Southern Italy). *Proc. 9th Salt-water intrusion meeting, Delft*: 19-28.
- DE GIORGI C., 1922 – Descrizione geologica e idrogeologica della provincia di Lecce, Lecce: 263 pp.
- DELLE ROSE M., 2001 – Salento Miocene: a preliminary paleoenvironmental reconstruction. *Thalassia Salentina*, 25: 41-66.
- DELLE ROSE M., FEDERICO A., FIDELIBUS C., 2000 – A computer simulation of groundwater salinization risk in Salento peninsula (Italy). *Proc. 2nd Int. Conf. on Computer Simulation in Risk Analysis and Hazard Mitigation*, Bologna: 465-475.
- DEL PRETE M., SANTAGATI G., 1972 – Depositi oligoalini interposti tra Calcari Cretacici e Pietra Leccese nei dintorni di Lecce. *Geol. Appl. e Idrogeol.*, 7: 225-233.
- FEDERICO A., 1999 – Aspetti geologico-ingegneristici dell'area carsica salentina. *Atti del I° incontro di studi "Il carsismo nell'area mediterranea"*, Castro, *Thalassia Salentina*, 23 suppl.: 35-46.
- GHASSEMI F., JAKEMAN A.J., NIX H. A., 1995 – *Salinisation of Land and Water Resources*. Australia National University, Canberra: 526 pp.
- GHIRAUDI C., FREZZOTTI M., NARCISI B., 2001 – Il contributo della paleoclimatologia nello studio del "global Change". *Energia, Ambiente e Innovazione*, 47(3): 19-28.
- GIULIANI P., 2000 – Elenco delle grotte pugliesi catastate fino al 31 ottobre 1999. *Itinerari Speleologici*, 9: 5-41.
- GORDON M. J., 1986 – Dependence of Effective Porosity on Fracture Continuity in Fractured Media. *Groundwater*, 24(4): 446-452.

- HENRY H.R., 1959 – Salt Intrusion into Fresh-Water Aquifers. *Journal of Geophysical Research*, 64: 1911-1919.
- HUYAKORN P. S., LESTER B., MERCER J., 1983 – An Efficient Finite Element Technique for Modeling Transport in Fractured Porous Media. *Single Species Transport. Water Resources Research*, 19(3): 841-854.
- LARGAIOLLI T., MARTINIS B., MOZZI G., NARDIN M., ROSSI D., UNGARO S., 1969 – Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, Foglio 214 Gallipoli, Napoli: 64 pp.
- LONG J.C.S., REMER J.S., WILSON C.R., WITHERSPOON P.A., 1982 – Porous media equivalents for networks of discontinuous fractures. *Water Resources Research*, 18(3): 645-658.
- MARGIOTTA B., 1992 – Caratteristiche geotecniche delle calcareniti e calcareniti marnose del Burdigaliano-Tortoniano (Pietra Leccese) e dei depositi a facies calcarenitico marnosa del Messiniano (Calcareniti di Andrano p.p.). *Spazio Aperto*, 9: 37-54.
- MARGIOTTA B., TADOLINI T., 1987 – Nuovi elementi idrogeologici scaturiti da perforazioni recenti nell'area posta a sud-est di Lecce. *Quad. Ric. Centro Studi Geot. Ing.*, 11: 287-302.
- MARTINIS B., 1967 – Note geologiche sui dintorni di Casarano e Castro (Lecce). *Riv. It. Paleont. e Strat.*, 73: 1-63.
- MARTINIS B., 1970 – Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, Foglio 223 Capo S. Maria di Leuca, Napoli: 69 pp.
- PALMENTOLA G., 1987 – Lineamenti geologici e morfologici del Salento leccese. *Quad. Ric. Centro Studi Geot. Ing.*, 11: 7-30.
- RICCHETTI G., 1987 – Carta Geomorfica del Salento meridionale. *Quad. Ric. Centro Studi Geot. Ing.*, Lecce, 11, Allegati.
- ROSSI D., 1969 - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, Fogli 203, 204, 213, Brindisi-Lecce-Maruggio, Napoli: 42 pp.
- TADOLINI T., TAZIOLI G. S., TULIPANO L., 1971 – Idrogeologia della zona delle sorgenti Idume (Lecce). *Geologia Appl. e Idrogeol.*, 4: 41-63.
- TULIPANO L., FIDELIBUS M. D., 1989 – Temperature of groundwaters in coastal aquifers: some aspects concerning salt-water intrusion. *Proc. 10th Salt-water intrusion meeting, Ghent*: 308-316.
- VOSS C.I., 1984 – Saturated-Unsaturated Transport: A Finite-Element Simulation Model for Saturated-Unsaturated, Fluid-Density-Dependent Ground-Water Flow with Energy Transport or Chemically-Reactive Single-Species Solute Transport. *U. S. Geological Survey, Reston*: 409 pp.
- ZITO G., VIESTI M., 1976 – On statistical behavior of the daily rainfall at Bari. *Riv. It. Geof. Sc. Af.*, 3: 267-274.
- ZITO G., RUGGIERO L., ZUANNI F., 1988 – Zone climatiche omogenee in Puglia. *Atti 2° Colloquio "Approcci Metodologici per la Definizione dell'Ambiente Fisico e Biologico Mediterraneo"*, Lecce: 15-40.

